

Leonardo da Vinci und das geologische Erdbild der Renaissance *)

Geologie und Paläontologie haben sich erst verhältnismäßig spät in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts zu eigentlichen Wissenschaften entfaltet. Über die vorausgehenden Zeiten konnte ein so scharfsinniger Kritiker wie Georg Christoph Lichtenberg urteilen, daß sie zwar keinen Beitrag zur Geschichte der Erde, wohl aber einen sehr merkwürdigen Beitrag zur Geschichte des menschlichen Geistes, und zwar seiner Verirrungen geliefert hätten.

So mag es für uns heute erheiternd wirken, daß ein Medizinerkollegium aus Gotha im Jahre 1699 eiszeitliche Elefantenknochen für Gebilde aus Mergel und Bolus erklärte, daß ein hochangesehener Gelehrter wie Johann Jacob Scheuchzer 1726 einen fossilen Salamander als das Beingerüst eines verruchten Menschenkindes beschrieb, um dessen Sünde willen das Unglück der Sintflut über die Welt hereingebrochen, oder daß noch 1780 der kgl. Preußische Konsistorial- und Baurat Johann Esaias Silberschlag die Arche Noah nachkonstruierte, um die Richtigkeit der Sintflut und die technische Möglichkeit zu Noahs Rettungstat zu erweisen.

Diese aus vielen Beispielen herausgegriffenen Kuriosa zeigen, wie schwer es offenbar war, den Rahmen des mosaischen Weltbildes zu sprengen, und daß die Entdeckung der Erdgeschichte der Entdeckung der Erde und des Kosmos erst spät zu folgen vermochte. Und ebenso schwer war es, zu der uns heute so selbstverständlichen Deutung von Versteinerungen als Überreste vorzeitlicher Lebewesen zu gelangen, die man bis in die Zeit der Aufklärung teils für Naturspiele, teils für die Ergebnisse einer Urzeugung im aristotelischen Sinne, bestenfalls aber für Dokumente der Sintflut hielt.

Wohl finden wir zurück bis zu den vorsokratischen Philosophen Joniens immer wieder einzelne treffende Beobachtungen an erdgeschichtlichen Dokumenten, und selbst das lange Zeit als wissenschaftlich steril geschmähte Mittelalter hat uns in den Werken eines Albertus Magnus oder eines Alberts von Sachsen bemerkenswerte Beiträge zur Frühzeit der Geologie geschenkt. Aber dies blieben eben doch nur Ansätze, die wir rückblickend als geistige Tat einzelner scharfsinniger Beobachter und Denker werten können, denen aber das Echo unter ihren Zeitgenossen versagt blieb, ohne das es nun einmal nicht zu einer geistigen Kontinuität und damit zur Entfaltung einer Wissenschaft von der Geschichte der Erde und des Lebens auf der Erde kommen konnte.

Um so erstaunlicher ist es, wenn wir zu dieser Zeit in der Person eines Forschers ein auf Beobachtungen gegründetes Erd-

*) Vortrag vor der Gießener Hochschulgesellschaft am 14. Mai 1958.

bild antreffen, das wir selbst in heutiger Sicht in seinen Grundlinien bestätigen dürfen und das den Auffassungen der Zeitgenossen um Jahrhunderte vorauseilte. Und wenn dieser Forscher auf nahezu allen Gebieten der mit den menschlichen Sinnen beobachtbaren Natur ähnliche Leistungen aufzuweisen hat und zugleich einer der größten Künstler der Menschheit überhaupt ist, so offenbart sich in ihm der Genius, zu dem wir nur in Verehrung und Dankbarkeit aufblicken können.

LEONARDO DA VINCI ist dieser Genius, über dessen Werk als Künstler, als Ingenieur und Forscher wir im Jahre 1952 anlässlich der 500. Wiederkehr seines Geburtstages so viel haben hören dürfen, dessen geologische und paläontologische Studien aber genau wie zu seinen Lebzeiten auch heute noch weitgehend unbekannt geblieben sind¹⁾.

Wohl in dem Wissen, daß die Zeitgenossen ihn doch nicht verstehen würden, hat Leonardo selbst darauf verzichtet, die Ergebnisse seiner Beobachtungen anderen mitzuteilen. Er verschloß sie in Tagebüchern und Notizblättern, die, in Spiegelschrift geschrieben, nur für den eigenen Gebrauch bestimmt waren. Bald nach seinem Tode wurden diese Aufzeichnungen in alle Welt zerstreut, und erst die Herausgabe und Übersetzung der Manuskripte, die im 19. und 20. Jahrhundert erfolgte, hat sie der historischen Forschung zugänglich gemacht.

So sind wir heute in der Lage, die mannigfachen Niederschriften aus Leonardos Hand einigermaßen sicher in seinen Lebenslauf einzuordnen und zu zeigen, daß geologische Fragen ihn fast ständig beschäftigt haben, wenn auch Höhepunkte der Auseinandersetzung mit ihnen zu verzeichnen sind.

Die berühmte Landschaftszeichnung aus dem Jahre 1473 zeugt davon, daß schon der Zwanzigjährige sich eingehend mit dem Bilde der Landschaft befaßte. 1486 werden in dem sogenannten Fragment einer Höhlenforschung erstmalig Funde vorzeitlicher Lebewesen erwähnt. In die gleiche Zeit fallen Studien zu Felszeichnungen, die von eingehender Beschäftigung mit dem natürlichen Erscheinungsbild von Gesteinen zeugen. In Mailand, wo Leonardo ab 1482 als Ingenieur des Herzogs Ludovico Sforza tätig war, hatte er die so ungemein wichtigen Wasserstraßen und Kanäle der Lombardei zu betreuen, und aus dieser Periode stammen ausführliche Notizen über Flußtätigkeit, Erosion, Sedimentation und Versteinerungen. Gleichzeitig tauchen auch die ersten Zweifel an der Richtigkeit der Sintflutlehre auf. Nach 1500 brachten ihn in Florenz praktische Aufgaben wieder in Berührung mit geologischen Problemen: Ein Bergrutsch war zu begutachten, zu dessen Still-

¹⁾ Um die Form des Vortrages auch im Druck möglichst zu bewahren, ist auf einen ins Einzelne gehenden Schriftennachweis verzichtet worden. Er findet sich zusammen mit dem Nachweis Leonardoscher Zitate in einer ausführlichen Arbeit des Verfassers: „Die Geologischen Studien Leonardo da Vincis und ihre Stellung in der Geschichte der Geologie.“ *Philosophia naturalis*, I, 2, 1950.

legung Leonardo die Anlage von Entwässerungsgräben empfahl. Kanalprojekte und der Dienst im Kriegslager Cesare Borgias verlangten topographische Aufnahmen. Gleichzeitig beschäftigte er sich eingehend mit dem Werke Alberts von Sachsen und versuchte, dessen Theorien durch Beobachtung zu bestätigen. Auch lernte er die Bergwelt der Alpen aus eigener Anschauung kennen und nach Petrarcas Besteigung des Mont Ventaux und Bembos Versuch, den Ätna zu erklimmen, ist dies das erste überlieferte Vordringen in die Schneeregion aus rein geistigen Motiven. Das Ergebnis finden wir neben einigen Skizzen in der Landschaftsdarstellung auf den Gemälden der Mona Lisa und der Heiligen Anna Selbdritt.

In Rom trat dann nach 1513 noch einmal ein gewaltiges praktisches Problem an Leonardo heran: die Trockenlegung der Pontinischen Sümpfe. Sie wurde auf Betreiben des Papstes nach Leonardos Angaben versucht, mußte allerdings an der Unzulänglichkeit der technischen Mittel scheitern.

Gegen Ende seines Lebens schließlich wurde für ihn die Sintflut als Symbol einer Erdkatastrophe zu einem häufig wiederkehrenden Thema zeichnerischer Darstellungen, in denen der Künstler Leonardo das gestaltete, was den Forscher von jeher bewegte: Das Problem des Werdens und Vergehens der Welt.

Aus der Fülle geologischer Beobachtungen, die gedruckt einen stattlichen Band umfassen würden, können wir nur wenige herausgreifen, die uns den Weg seines Beobachtens, seines Denkens und der Auseinandersetzung mit den Meinungen der Zeitgenossen nachgehen lassen. An erster Stelle stehen da die Versteinerungen und ihre Deutung. Leonardo hatte Gelegenheit, fossile Faunen aus dem Tertiär Oberitaliens bei seinen Ingenieurarbeiten kennenzulernen. Sein Interesse hierfür scheint bekannt gewesen zu sein, denn er verzeichnet, daß ihm Landleute einen Sack voll Versteinerungen nach Mailand gebracht hätten, als er dort mit dem Modell des Reiterdenkmals beschäftigt war, und er bemerkt dabei sogar, daß die Muscheln in ihrer ursprünglichen Vollkommenheit erhalten waren.

Er unterscheidet in anderen Notizen verschiedene Muschelarten wie Austern, Kammuscheln, Miesmuscheln und Schnecken und stellt fest, daß sie bald in ihrer Lebensstellung versteinert, bald aber nach ihrem Tode von den Wellen umgelagert worden seien. Ihre Erhaltung verdanken sie der Einbettung im Meeresschlamm, der in die Muschelschale eingedrungen sei und später zu Stein verwandelt wurde.

Selbst Lebensspuren werden erwähnt: „Wie man denn in einzelnen Schichten noch die Gänge der Würmer findet, die in ihnen herumkrochen, als sie noch nicht ausgetrocknet waren“.

In der Ausdeutung der Versteinerungen geht Leonardo denselben Weg, den der Paläontologe heute noch einschlagen muß, wenn er eine vorzeitliche Fauna verstehen will: Er vergleicht sie mit der gegenwärtigen Lebewelt, die seiner Beobachtung im Ufergebiet des Mittelmeeres zugänglich war. Welche Leistung dies aber

bedeutete, können wir ermessen, wenn wir in seinen Notizen lesen, mit welchen zeitgenössischen Auffassungen er sich auseinanderzusetzen hatte:

Eine der offiziellen „Lehrmeinungen“ war die Deutung der Versteinerungen als Überreste der Sintflut. Wir finden sie schon in vorchristlicher Zeit in Verbindung mit der Deukalionischen Flut, und die Kirchenväter griffen diesen Gedanken als willkommenen Beweis für die Richtigkeit ihrer Lehre auf. Sie erlebte auf italienischem Boden in der Renaissance eine besondere Blüte, vor allem durch das Werk Ristoro d'Arrezos „La Composizione del mondo“, das die Sintflut durch neue Versteinerungsfunde zu beweisen versuchte. Hiergegen wendet nun Leonardo ein, daß die Muscheln durch die Flut auf die Höhe der Berge hätten getragen werden müssen, auf denen man sie findet, daß dies aber durch die bergablaufenden Regenwässer der Sintflut nicht möglich sei. Wenn man aber behaupten wolle, daß die Muscheln aktiv vom Meere auf die Höhen der Berge gewandert seien, wie verträgt sich die Dauer der Sintflut von 40 Tagen mit ihrer beobachtbaren Wandergeschwindigkeit oder richtiger Langsamkeit? Mit einer Bewegung von drei bis vier Ellen am Tage könnten die Muscheln nicht 250 Meilen vom Adriatischen Meer bis an den Montferrato in der Lombardei gewandert sein, „wie einer behauptet, der diese Zeit genau beobachtet hat“, wird bissig hinzugefügt.

„Wie aber wollen wir erklären, warum am Montferrato jeden Tag zerfressene Korallen gefunden werden, und zwar an die Felsen geheftet, die von den Strömungen der Flüsse freigelegt worden sind? Und die genannten Felsen sind auch alle bedeckt mit Stöcken und Familien von Austern, die sich nicht bewegen können, sondern mit einer ihrer Schalen immer an den Felsen geheftet bleiben und die andere öffnen, um sich von kleinen Lebewesen zu ernähren, die im Wasser herumschwimmen.“ Und schließlich, wenn die Wasser der Sintflut die ganze Erde bedeckt hätten, wohin hätten sie dann ablaufen sollen?

Die andere Lehrmeinung seiner Zeit geht letzten Endes auf Anaximandros von Milet zurück, der erstmalig einen rationalen Erklärungsversuch für die Entstehung von Organismen durch eine Urzeugung unternahm, indem er lehrte:

„Im Feuchten wären die ersten Lebewesen entstanden, die von stacheligen Ringen umgeben waren. Im weiteren Verlauf seien sie dann aufs Trockene ausgewandert und hätten, indem die Rinde von ihnen abfiel, auf kurze Zeit ihre Lebensform geändert.“

Diese Anschauung wurde von Aristoteles weiterentwickelt, dessen Urzeugungslehre bis ins 17. Jahrhundert wirksam blieb. Von ihr ist es nur ein kleiner Schritt zu der Vorstellung, daß auch die Versteinerungen durch Urzeugung in der Erde entstanden und gewissermaßen nicht voll zum Leben erwacht seien. Über die Araber hat diese Lehre einer „vis plastica“ den Untergang der Antike überdauert und Eingang in die Vorstellungen der scholastischen

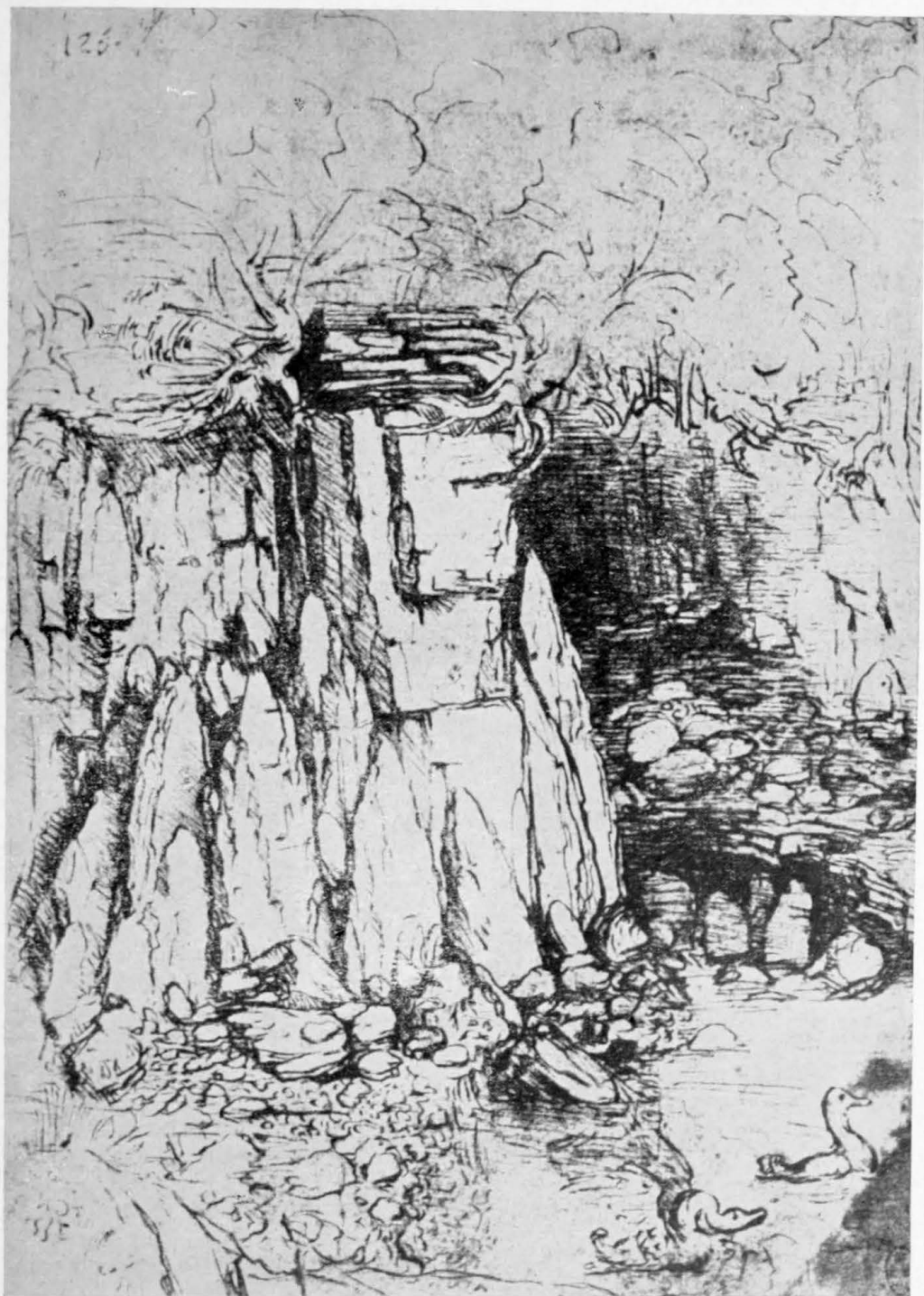


Abb. 1
Felsschlucht mit Fluß. Ca. 1483—1485.
Kgl. Bibliothek zu Windsor.

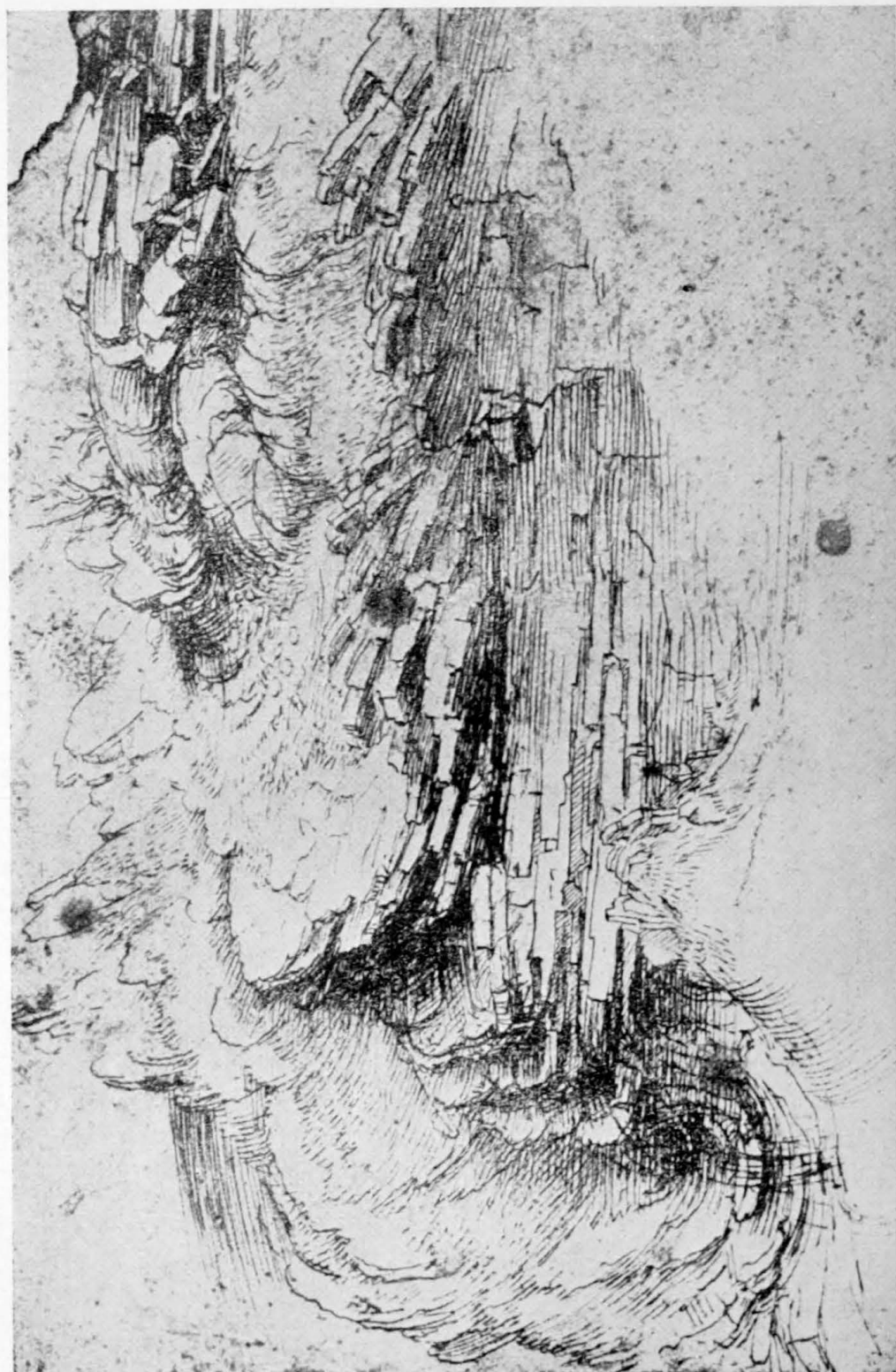


Abb. 2

Berstende Felsen. Blatt 12 394.
Kgl. Bibliothek zu Windsor.



Abb. 3
Landschaft. Federzeichnung, 1473.
Uffizien, Florenz.

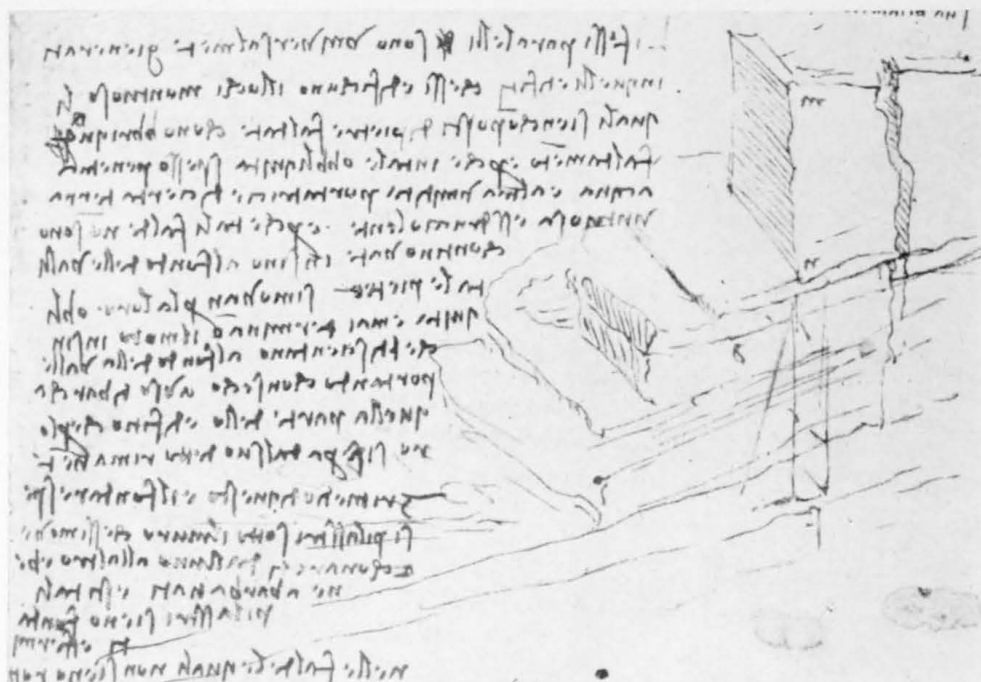


Abb. 4

Zeichnung auf fol. 157 r der Arundel-Handschrift.
Entstehung von Mauerrissen.

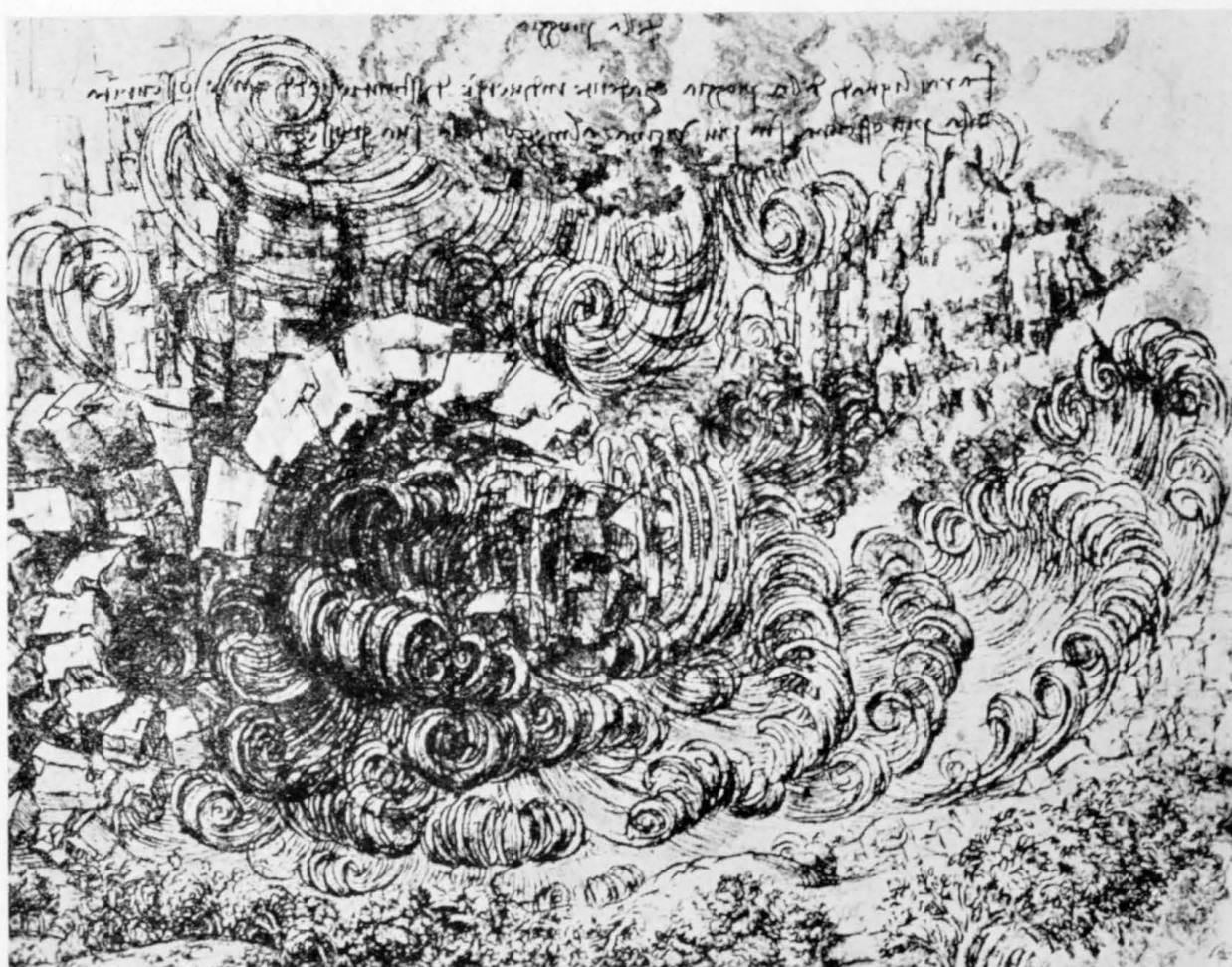


Abb. 5

Erdkatastrophe. Federzeichnung 1514—1516.
Kgl. Bibliothek zu Windsor.

Kommentatoren gefunden, um noch im Barock seltsame Blüten zu treiben.

Hierzu äußert sich Leonardo recht ironisch: „Und würdest du behaupten, daß die Muscheln an solchen Orten durch die Natur der Himmelsstriche und der Gegend, die dort einen Einfluß ausübt, geschaffen worden seien und noch geschaffen werden, so besteht eine solche Meinung nicht in Gehirnen mit großem Denkvermögen.“ Und als sachliche Gegenargumente werden Beobachtungen über den Einbettungsvorgang am Meeresgrunde angeführt, für die man heute ein so schönes Fachwort wie „Biostratonomie“ zu gebrauchen pflegt:

„Wie könnte man denn in einer großen Schnecke die Bruchstücke vieler anderer Muschelarten von verschiedener Beschaffenheit finden, wenn sie nicht tot waren, als sie durch die Wellen des Meeres auf die Meeresgestade geworfen wurden? Warum findet man so viele Bruchstücke und ganze Muscheln zwischen den Gesteinsschichten, wenn sie nicht schon auf dem Strand lagen, als die neue, vom Meer angeschwemmte und später versteinerte Schicht sie bedeckte?“

Leonardo hatte also bereits erkannt, daß die Schalen abgestorbener Meeresorganismen von den Wellen umgelagert und zerbrochen werden können, und daß sie durch Überlagerung mit neuen Sedimentmassen eingebettet und damit der Nachwelt erhalten werden. Hierzu bedarf es keiner übernatürlichen „vis plastica“ oder „aura seminalis“, und auch eine von den Astrologen seiner Zeit gepflegte Ansicht lehnt er ab, daß nämlich die Versteinerungen einer besonderen Konstellation der Gestirne ihre Entstehung verdanken:

So schreibt er: „Und wenn du sagen wolltest, daß die Muscheln in dem Gebirge von der Natur durch die Konstellation der Sterne hervorgebracht seien, auf welchem Wege, würdest du zeigen, bringt solche Konstellation die Muscheln von verschiedener Größe und verschiedenen Arten und verschiedener Gattung im gleichen Gebirge hervor?“

Eng verbunden mit der Frage der Natur der Versteinerungen ist für Leonardo die Frage noch der abtragenden und ablagernden Wirkung des Wassers. Seine Aufzeichnungen hierüber erstrecken sich über lange Jahre, vom ersten Mailänder Aufenthalt bis in sein hohes Alter. Als Ingenieur des Herzogs von Mailand waren ihm zeitweise die Wasserstraßen des Herzogtums unterstellt, und auch in Florenz traten Wasserbaufragen an ihn heran, als dort der Bau eines Arnokanals geplant wurde. So war vielfach der Anlaß zu hydrologischen Studien geboten, an die sich Beobachtungen über die geologische Wirksamkeit des Wassers zwanglos anschlossen.

Während sich Leonardo bei seinen Fossilstudien mit den Ansichten der Zeitgenossen auseinanderzusetzen hatte, drang er hier in fast unberührtes Neuland vor. Die Erosion als solche war zwar bekannt und spielt in den Erdtheorien der Scholastik eine gewisse

Rolle, wirkliche Beobachtungen über den Vorgang der Erosion und Sedimentation lagen aber noch nicht vor.

Voraussetzung für Erosion ist eine Auflockerung der Gesteine durch Verwitterung. Ihr wird bereits eine gebührende Rolle zugeschrieben, wenn es heißt:

„Wie die Gewässer schließlich die Berge dem Erdboden gleichmachen werden. Denn sie spülen das Erdreich fort, das jene bedeckt, und legen die Felsen frei, die dann fortwährend verwittern und zuletzt, durch Wärme und Frost gesprengt, zu Erde werden.“ Selbst der Mensch wird als Faktor einbezogen, da er das Erdreich bearbeitet und es dann leichter fortgespült werden kann als in Gegenden, wo der Boden von Vegetation bedeckt ist.“

Die Flüsse spülen also das Erdreich und die Gesteine fort und tragen sie in ihrem Bett abwärts. Von den Vorgängen bei diesem Materialtransport erhalten wir ein anschauliches Bild durch eine andere Notiz, die fast einem Lehrbuch der allgemeinen Geologie entnommen sein könnte:

„Der Fluß, der aus den Bergen kommt, läßt in seinem Kiesbett eine große Menge grober Steine ab, die teilweise noch ihre Ecken und Seiten haben, und führt im weiteren Lauf kleine Steine mit mehr abgeschliffenen Ecken mit... Weiter unten setzt er erst groben Kies ab und dann feinen, und es folgt grober Sand und dann feinerer. Später folgt grober Ton und dann feinerer und so gelangt das durch Sand und Ton getrübe Wasser schließlich bis zum Meer.“ Und weiter wird ausgeführt, wie sich am Meeresgrund die feinen Tonschichten ablageren und dann zu Stein werden.

Sehr genau werden Meeresablagerungen — erkennbar an ihren Versteinerungen — von Ablagerungen der Flüsse unterschieden, denen diese Versteinerungen fehlen. Für beide kennzeichnend ist aber die Schichtung — ein Grundphänomen derartiger Ablagerungen, das auch uns noch manches Rätsel aufgibt. Jede Schicht stellt das Abbild eines bestimmten Vorganges dar, der für Leonardo bei Flüssen in Überschwemmungen gegeben ist. Doch selbst bei Meeresablagerungen sind mehrfache Ereignisse zu erkennen, die sich in der Abfolge der Schichten spiegeln. So sah Leonardo in der Lombardei vier Lagen von Muscheln, die zu verschiedenen Zeiten geschaffen worden seien. Vermutlich hat er an vier verschiedene Überflutungen gedacht.

Die an ihrem Fossilinhalt erkannten Meeresablagerungen sind für Leonardo Zeugnis eines großartigen Wandels in der Verteilung der Festländer und Meere. Diese Vorstellung, daß das Meer einst weite Strecken des heutigen Festlandes bedeckte, und andererseits heutiges Meergebiet einst landfest war, ist alt und spielt seit Anaximander und Herodot bereits in der Erdbetrachtung der Antike eine Rolle. Für die Wahrung der Erkenntnis war es wesentlich, daß auch Aristoteles sich in den „Meteor“ eindeutig für einen Wandel von Festland und Meer aussprach, was von seinen Kommentatoren ohne wesentliche neue Beobachtungen übernommen wurde.

Da Leonardo in seinen Notizen sowohl Aristoteles wie dessen wichtigsten Kommentator Avicenna ausdrücklich erwähnt, ist anzunehmen, daß er von ihren Ansichten Kenntnis gehabt hat. Was ihn aber grundsätzlilch von den Vorgängern unterscheidet, ist die Tatsache, daß er seine Vorstellungen auf eigene Beobachtungen aufgebaut und erst von hier aus in theoretische Erörterungen vordringt. So gibt er einen Abriß der jüngsten Erdgeschichte des Arnotales, der in großen Zügen unserem Bilde von der jungtertiären und quartären Entwicklung dieses Gebietes entspricht: Meeresmuscheln seien nur dort zu finden, wo früher salzige Gewässer gestanden hätten, weiter oberhalb hätten die einst zusammenhängenden Berge den Fluß an zwei Stellen abgedämmt und Süßwasserseen aufgestaut, deren Schichten heute noch in den Einschnitten der Flüsse zu sehen seien.

Noch erstaunlicher ist eine Notiz, die besagt, daß der heutige Donaauraum einst vom Meere erfüllt gewesen sei „Und das zeigen uns die Austern, Miesmuscheln und Kammuscheln und die Knochen von großen Fischen, die an vielen Orten an den hohen Hängen der genannten Gebirge gefunden werden“. Die Kenntnis dieser Dinge hat er möglicherweise einer Kosmosgraphie des Aanaas Sylvius entnommen.

Und schließlich befaßte er sich eingehend mit dem Mittelmeer, das früher ganz andere Ausmaße gehabt habe. In diesem Zusammenhang finden wir eine besonders bemerkenswerte Notiz, in der erstmalig auf die grundsätzliche Bedeutung eingegangen und auch der Zeitraum des mosaischen Weltbildes gesprengt wird:

„Da die Dinge viel älter sind als die Schriften, so ist es nicht verwunderlich, wenn heutzutage aus keiner Urkunde hervorgeht, daß die genannten Meere so viele Länder bedeckt haben... Uns aber genügen die Beweise der in den salzigen Gewässern entstandenen Dinge, die man in den hohen, den früheren Meeren so weit entfernten Bergen wiederfindet.“

Die Ursache der Veränderung von Festland und Meer sieht Leonardo nicht in lokalen Ereignissen, wie es die schon vor ihm viel erörterte Öffnung der Straße von Gibraltar darstellte, sondern im Sinne einer Theorie des großen Scholastikers ALBERT VON SACHSEN, der in der ersten Hälfte des 14. Jahrhunderts in Paris gelehrt hatte. Alberts Theorie war Leonardo sehr genau vertraut und in zahlreichen Notizen aus der zweiten Hälfte seines Lebens beschäftigte er sich mit der Frage eines beobachtbaren Beweises für ihre Richtigkeit.

Es ist das Verdienst PIERRE DUHEMS²⁾, die Bedeutung der Erdtheorie Alberts von Sachsen für die Anschauungen Leonardos erkannt zu haben, und seine Darstellung vermittelt uns zugleich ein Bild von den eigenartigen, in manchen Grundlagen auch heute noch bedeutsamen Gedankengängen jenes großen Philosophen.

Alberts und mit ihm Leonardos Gedankengang ist folgender:

²⁾ P. DUHEM: Etudes sur Léonard de Vinci. Paris 1906—1913.

Der Schwerpunkt der Erde fällt mit dem unveränderlichen Zentrum des Universums zusammen. Jede Veränderung in der Gestalt oder Dichte der Erde bedeutet eine Verlagerung des Schwerpunktes aus dem Weltmittelpunkt hinaus. Da aber die Erde das Bestreben hat, ihren Schwerpunkt immer wieder auf den Weltmittelpunkt einzustellen, kommt es zu einer Art Kreislauf der Materie durch das Innere des Erdkörpers:

Durch die Erosion der Flüsse wird nämlich ununterbrochen Erde vom Festland dem Meere zugeführt. Hierdurch wird das Gewicht der Kontinente verringert, das des Meeresbodens erhöht. Der Ozeanboden sinkt daher immer tiefer, da er infolge seiner Belastung dem Weltmittelpunkt zustrebt, während die Festländer infolge der Gewichtsverminderung aufsteigen und durch die Erosion zu Gebirgen zerschnitten werden.

So wandern also die Bestandteile der Erde in einem großen Kreislauf vom Boden des Ozeans zum Mittelpunkt der Erde, steigen auf der anderen Seite wieder empor und bilden dort die Gebirge.

Zwei Grundtatsachen sind in dieser Theorie ähnlich gesehen, wie sie uns erscheinen: Hebung der Kontinente, denen ein Absinken der Meeresräume entspricht und die formgestaltende Kraft der Erosion. Kennzeichnend für den Beobachter Leonardo ist es nun wieder, daß er es nicht mit einer solchen Theorie bewenden läßt, sondern ihre Richtigkeit am erdgeschichtlichen Dokument zu erhärten sucht:

„Die Muscheln, die Austern und andere ähnliche Tiere, die im Meeresschlamm geboren werden, bestätigen uns die Veränderungen der Erde rings um den Mittelpunkt unserer Elemente... Jetzt liegen die Meeresböden sogar so hoch, daß sie Hügel oder hohe Berge bilden, und die Flüsse, welche die Seiten dieser Berge abtragen, legen die Muschelschichten frei. So hebt sich der leichter gewordene Teil der Erde immerfort, und die früheren Meeresböden werden also zu Gebirgskämmen.“

Die Vorstellungen Alberts von Sachsen und ihre Weiterentwicklung durch Leonardo stellen eine frühe große Theorie der Geotektonik dar, die heute fast dem Vergessen anheimgefallen ist. Wenn auch ihre Prämisse von der Lage des Erdschwerpunktes im unveränderlichen Zentrum des Universums nach unseren Vorstellungen nicht mehr zutrifft, so enthält diese Theorie doch ein so reiches Maß an Naturbeobachtung und folgerichtiger Gedankenführung, daß wir ihr nur unsere größte Bewunderung zollen können.

Neben der Theorie steht bei Leonardo die *Praxis*, auf die wir nur kurz eingehen können. Es sei aber bemerkt, daß er sich eingehend mit den Fragen von Kanalbau und Uferschutz befaßte. Wir dürfen auch erwähnen, daß sich in den Akten der Stadt Florenz das vermutlich älteste geologische Baugrundgutachten befindet und daß dieses von Leonardo stammt: Innerhalb der Stadt drohte ein Hügel ins Rutschen zu geraten, nachdem seine Grundlagen durch einen Straßenbau abgegraben waren. Zur Begutachtung wurden

mehrere Architekten und Baugewerke herangezogen, unter ihnen Leonardo. Er legte eine Zeichnung vor, wonach der Schaden dadurch verursacht wurde, daß an einer Stelle Gelände fehlte, während andererseits Wasser durch die Erdschichten sickerte. Und er empfiehlt Einschnitte in die tonigen Schichten zu machen, um das Grundwasser abzuleiten und dafür Sorge zu tragen, daß diese Abzugskanäle stets sauber gehalten würden.

Eilt Leonardo auch in der praktischen Anwendung seiner Erkenntnisse der Zeit weit voraus, ist er ihr in anderer Weise doch noch eng verhaftet: So im Vergleich der Erde mit einem Organismus oder mit dem Mikrokosmos des Menschen, ein Vergleich, der schon von den Naturphilosophen des Altertums angestellt wurde und Leonardo aus Senecas Schriften bekannt war. Die Felsen vergleicht er mit den Knochen, das Wasser in den Spalten der Gebirge mit dem Blute. Dem Atmen der Lunge entspricht das Anschwellen und Abnehmen des Meeres mit den Gezeiten. Federn und Haaren gleichen Bäume und Sträucher, während das in der Erde brennende Feuer der Wärme des lebendigen Körpers gleichzusetzen ist. Daß ein den Nerven entsprechendes Organ der Erde fehlt hat seine Ordnung, denn diese dienen der Bewegung, da aber die Erde und die Welt in ständigem Gleichgewicht sind und keine Bewegung vorhanden ist, sind Nerven hier nicht nötig.

So entspricht die Erde für ihn in allen Einzelheiten einem lebenden Organismus. Leben aber bedeutet Tod, und der lebenden Erde steht somit ein todesähnliches Ende bevor. Zunächst sah Leonardo dieses Ende in einem Versiegen des in der Erde eingeschlossenen Wassers:

„Die Flüsse werden also ohne Wasserzufuhr bleiben, das fruchtbare Erdreich wird nicht mehr schwellende Triebe hervorbringen, die Felder werden nicht mehr prangen im Schmuck des wogenden Getreides. Alle Tiere werden sterben, da sie nicht mehr frisches Gras zum Äsen finden, und die Nahrung wird ihnen fehlen, sogar den raubgierigen Löwen und Wölfen und anderen Tieren, die vom Raub leben. Auch den Menschen wird schließlich, nach vielen Vorkehrungen, nichts mehr übrig bleiben, als das Leben aufzugeben, und das Menschengeschlecht wird aussterben.“

Später hat sich Leonardo von der Vorstellung gelöst, daß die Erde einem Organismus gleiche, und damit wandelt sich seine Vision vom Untergange der Welt: Das Wasser wird alle Berge abtragen, und die Erde wird zu einer vollendeten Kugel werden. Dann werden aber alle Teile der Erde vom Wasser bedeckt sein und das Leben auf der Erde wird erlöschen.

Das Problem des Endes der Erde und ihres Unterganges hat Leonardo besonders in den letzten Jahren seines Lebens viel beschäftigt. Es führte ihn zu den tiefsten Fragen des Werdens und Vergehens, die weit über die Bereiche der aus reiner Beobachtung schöpfenden Naturerkenntnis hinausgehen.

Wir folgen dem feinsinnigen Leonardo-Interpreten HEYDEN-

REICH³⁾), wenn wir feststellen, daß die Rätsel des Weltendes Leonardo zwingen, „über die Ergebnisse seiner sachlich strengen Forschung hinauszugreifen und seine Vorstellungskraft ins Unermeßliche auszudehnen“. Auch die Wissenschaft konnte ihm für die Frage des Weltendes keine sichere Lösung bieten, hier setzte seine eigene, künstlerische Phantasie ein, die auf mythische Überlieferungen zurückgreift: Sintflut und Jüngstes Gericht sind ihm Symbole für eine Katastrophe kosmischen Ausmaßes, Zeichnungen von Unwettern und Bergstürzen, die in den Jahren zwischen 1513 und 1515 entstanden, deuten dies Ende an. Höchste Gestaltung findet es aber in den sogenannten Sintflutblättern, in denen er visionär den Weltuntergang gestaltet.

Damit sind wir in unserer Betrachtung an die Frage herangeführt worden, wie der Künstler Leonardo das formte, was er als Forscher beobachtet, erkannt und durchdacht hatte. Sie zu beantworten wird dem Kunsthistoriker vorbehalten bleiben und hat gerade in diesen Tagen durch das Werk GANTNERS über „Leonardos Visionen von der Sintflut und vom Untergang der Welt“ eine Antwort erfahren⁴⁾. Der Naturwissenschaftler jedoch wird hierzu aus der Vertrautheit mit dem Objekt einige Hinweise geben können.

Die Zahl geologischer Zeichnungen Leonardos ist im Vergleich mit der Fülle anatomischer oder technischer Zeichnungen und auch im Verhältnis zu den umfangreichen Notizen geologischen Inhalts recht gering. So konnte ich nicht eine Zeichnung der oft erwähnten versteinerten Muscheln und Schnecken entdecken, während es zahlreiche Skizzen und weiter ausgearbeitete Blätter von lebendigen Pflanzen und Tieren gibt.

Dagegen findet sich eine Reihe von Skizzen, die zur Erläuterung der auf den gleichen Blättern notierten Beobachtungen dienen. Sie haben somit gewissermaßen rein wissenschaftlichen Charakter und dürfen Anspruch darauf erheben, die ältesten uns überlieferten geologischen Skizzen zu sein⁵⁾.

Als Beispiel sei ein Blatt der Arundel-Handschrift (Abb. 4) wiedergegeben, in dem die Entstehung und Verhütung von Mauerrißen erörtert wird. Im Text hierzu heißt es: „Risse an geraden Wänden, Risse von gleicher Breite im unteren wie oberen Teil entstehen bei Gebäuden, die auf Felsen von schräger Schichtung, in welche leicht Feuchtigkeit eindringt, gebaut sind. Da solche Schichten nicht bis in das Tal hinabreichen, geraten sie leicht in Bewe-

³⁾ L. H. HEYDENREICH: Leonardo da Vinci. Berlin 1943.

⁴⁾ J. GANTNER: Leonardos Visionen Visionen von der Sintflut und vom Untergang der Welt. Bern 1958.

⁵⁾ Dank dem Entgegenkommen der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft in Frankfurt (Main) und des Verlages Anton Hain in Meisenheim (Glan), welche Klischees zu früheren Aufsätzen des Verfassers zur Verfügung stellten, konnte wenigstens ein Teil der im Vortrag gezeigten Zeichnungen Leonardos abgedruckt werden.

Der Text ist auf diese Zeichnungen abgestimmt und weicht daher hier notgedrungen von dem Vortrag ab.

gung und tragen das Stück des Gebäudes, das auf ihnen ruht, allmählich ins Tal hinab. Um dem entgegenzuwirken, müssen auf dem festen Teil des Gesteins Pfeiler errichtet und durch Bögen gut miteinander verbunden werden. Welche Teile des Gesteins fest sind und welche sich bewegen, wird dadurch festgestellt, daß man unter dem Mauerwerk einen tiefen Brunnen gräbt und an dessen Wand einen Streifen von Handbreite gut glättet, damit man nach einiger Zeit sehen kann, welcher Teil des Felsens sich bewegt.“

Ähnlichen Charakter haben andere Blätter, in denen Erdschichten, Flußtätigkeit, der Weg des Grundwassers oder Gedankengänge zur Theorie Alberts von Sachsen erörtert werden und einfache Skizzen mit dem Text verbunden sind. Sie sind kennzeichnend für Leonardos Art der Darstellung, die von der schriftlichen Aufzeichnung zur Skizze und über ausgeführte Zeichnungen bis in vollendete Gemälde führt.

Zwischen naturwissenschaftlicher und künstlerischer Studie steht das Blatt der „Felsenschlucht mit einem Fluß“ aus der Kgl. Bibliothek zu Windsor (Abb. 1), das in die Zeit des Mailänder Aufenthaltes datiert. Das Blatt stellt die erodierende Wirkung des Wassers dar. Neben einem Entenpaar, das sich auf dem Flusse tummelt, liegen am Ufer mächtige und deutlich gerundete Gesteine. Die Felsen sind im unteren Teil aus grobbankigen Massen aufgebaut, vielleicht einem geklüfteten Sandstein oder Kalk. Über ihm liegt eine Partie deutlich geschichteter Felsen, in deren Fugen sich die Wurzeln von Bäumen hineinzwängen.

Felszeichnungen gehören zur den konventionellen Requisiten antiker und mittelalterlicher Malerei, da sie mit verhältnismäßig einfachen Mitteln eine Raumwirkung erzielen. Was Leonardos Felszeichnungen von denen seiner Zeitgenossen abhebt, ist ihre unmittelbare Naturbezogenheit, die sich auch in anderen Werken wie der „Allegorie“ (Louvre) oder zu Füßen der „Anna Selbdritt“ wiederfindet.

Besonders inhaltsreich erscheint unter den Felszeichnungen ein Blatt aus Windsor (Abb. 2). Die Anordnungen der Gesteinsmassen mag für den Geologen im Widerspruch zu natürlichen Vorkommen stehen. Erst GANTNERS Deutung als berstende Felsen macht sie verständlich und läßt die geistige Beziehung zu den späteren Sintflutblättern klar werden. Wir folgen Gantner: „Im Blatt 12 394 zeigt der Vordergrund nach links hin einen steil aufragenden, kegelförmigen Berg. Das Gemäuer auf seiner Anhöhe könnte wohl, in Analogie zu einem Motiv, das auch in der Untergangsserie noch auftritt, als Ruine einer Burg, also als ein letzter Überrest menschlicher Tätigkeit und menschlichen Lebens gedeutet werden. Ihm antwortet oben über dem Felsen eine Gruppe entlaubter und gebrochener Bäume. Und auch sie bilden ein Motiv, das in der Untergangsserie wiederkehrt. Zwischen diesen beiden Zeichen der Erinnerung an das organische Leben geschieht nun die Katastrophe des Anorganischen: eine Felsmasse, in Schichten aufgetürmt, wird von unsichtbaren Kräften nach links geschoben. Die

Schichten legen sich übereinander, sie krümmen sich und biegen sich nach oben, von wo die Felsblöcke im nächsten Augenblick herabstürzen müßten.“

Daß dieses Blatt auch modernster naturwissenschaftlicher Interpretation zugänglich ist, beweist seine Wiedergabe als Titelbild zu BRUNO SANDERS „Einführung in die Gefügekunde der geologischen Körper“⁶⁾ mit folgender Unterschrift: „Mit dieser Handzeichnung ist Leonardo da Vinci als Naturforscher und Technologe unserer Zeit näher als der seinen. Die Zeichnung zeigt eine B-Achse als Faltungsachse (links im Bild) verschiedenen Ausmaßes, als Stengel mit rhythmischen (rechts im Bild) Zerrklüften B und bis ins letzte freisichtbare Feingefüge geprägt. Die Symmetrologie des Gebildes ist gesehen und damit ist die Zeichnung des italienischen Ingenieurs und Künstlers auch vielen Darstellungen unserer Zeit überlegen: Außengestalt und Gefüge haben die bilaterale Symmetrie, welche als Abbildung bilateraler Vektorensysteme in der irdischen Gestaltung unlebendiger und lebendiger Bereiche eine Hauptrolle spielt und deren Lage zu den Erdkoordinaten zwei Typen tektonischer Formung — steilachsige und flachachsige Baue mit und ohne Transporte — ergibt.“

In den Landschaftsdarstellungen Leonardos, denen Skizzen ebenso zuzurechnen sind wie die Hintergründe seiner im Louvre bewahrten Gemälde, findet sich immer wieder die Wirksamkeit des Wassers, „des Kärnners der Natur“ dargestellt. Am unmittelbarsten berührt fühlt sich der Geologe von der Federzeichnung einer Landschaft aus dem Jahre 1473, also einem sehr frühen Werk (Abb. 3). Es ist kaum anzunehmen, daß der erst 21jährige Schüler Verocchio schon wesentliche geologische Erkenntnisse besaß, die Datierung seiner Notizen schließt dies sogar mit Sicherheit aus. Um so erstaunlicher ist aber das intuitive Erfassen einer „geologischen Landschaft“, welches das Blatt geradezu als Dokument erdgeschichtlicher Vorgänge, wie etwa der Entwicklung des hier dargestellten Arnosales auffassen ließe: Der Talboden des Vordergrundes ist durch eine steile Schlucht zerschnitten, die in ein flaches Becken im Mittelgrund hinabführt. Die Schlucht hat sich in das nackte Gestein eingegraben, das eine grobbankige und darüber feinere Schichtung erkennen läßt. Im Sinne späterer Notizen Leonardos wäre die Zeichnung etwa folgendermaßen zu deuten: Eine Meeresüberflutung hat flachliegende Schichten hinterlassen. Später hob sich das Land und wurde von der Kraft des fließenden Wassers zerschnitten.

Die letzten Folgerungen, die der Forscher und Denker Leonardo aus seinen Erdstudien zog, waren Visionen eines katastrophalen Weltunterganges. Ihren Ausdruck fanden sie in der Serie der sogenannten Sintflutblätter (Abb. 5) aus den Jahren um 1515. In der Darstellung rasender Wirbel, in denen die Elemente miteinander vermengt die Erde zerstören, erinnern sie an Photographien un-

⁶⁾ B. SANDER: Einführung in die Gefügekunde der geologischen Körper I. Wien und Innsbruck 1948.

serer Tage und sollten uns mahnen, nicht leichtfertig Kräfte zu entfesseln, denen Einhalt zu gebieten, unmöglich sein wird.

Zum Schluß wollen wir uns noch die Frage vorlegen, wieweit Leonardos geologische Erkenntnisse auf seine Zeitgenossen haben einwirken können. Und wir müssen feststellen, daß sie ihnen wohl weitgehend unverständlich und unzugänglich geblieben sind.

Als 1517 die Festungen Veronas ausgebaut wurden, fand man fossilführende Schichten und es entbrannte ein erbitterter Streit um die Natur der Versteinerungen. Einzig FRACOSTORO hat die organische Natur dieser Gebilde erkannt und argumentiert mit fast denselben Beobachtungen und Überlegungen wie Leonardo, so daß es möglich erscheint, daß er Leonardos Ansichten gekannt hat.

Der Arzt, Mathematiker und Physiker CARDANO (1501—1576), beruft sich auf Leonardos Handschriften und übernahm seine Vorstellungen von der Entstehung der Versteinerungen, jedoch sehr wahrscheinlich ohne eigene Kenntnis des Materials, da seine Niederschriften recht unklar formuliert sind. Duhem hat schließlich durch Textvergleich nachweisen können, daß der als einer der Begründer der Paläontologie gefeierte Franzose BERNARD PALISSY (1510—1589) von Cardano abgeschrieben hat, ohne daß ihm der Leonardosche Urtext bekannt war oder er wesentliche eigene Beobachtung beisteuern konnte.

Damit erlischt aber die Überlieferung und es blieb der Leonardo-Forschung des 19. und 20. Jahrhunderts vorbehalten, seine geologischen Aufzeichnungen wiederzuentdecken.

1861 wies STOPPANI erstmalig auf Leonardos geologische Forschungen hin. 1903 widmeten ihm MARIO BARRATTA und 1920 GUISEPPE DE LORENZO ein größeres Werk, 1909—1913 zeigte DUHEM in seiner großen Monographie die Beziehungen zu den Scholastikern, insbesondere zu Albert von Sachsen auf. 1940 erschien eine von THEODOR LÜCKE übersetzte Ausgabe Leonardoscher Tagebücher und Aufzeichnungen⁷⁾.

Das Studium dieser Notizen läßt uns zu der Überzeugung gelangen, daß Leonardo da Vinci dank seiner unerhörten Beobachtungsgabe auf geologischem Gebiet Kenntnisse besaß, die der Entwicklung der Wissenschaft um gut 300 Jahre vorgriffen. Darüberhinaus stand er den Problemen der Erde mit einer Einstellung gegenüber, die uns Heutigen nahe verwandt erscheint. Sein Urteil über die Beschäftigung mit der Erde und ihrer Geschichte faßte er in einem Satze zusammen, dem wir Geologen gerne zustimmen: „Die Kenntnisse der Vergangenheit und der Lage der Erde ist Schmuck und Nahrung des menschlichen Geistes.“

⁷⁾ Leonardo da Vinci, Tagebücher und Aufzeichnungen. I. Ausgabe Leipzig 1940; II. Ausgabe Zürich 1952.